

(51) Int. Cl.
H01S 5/34
5/024
5/14

識別記号

F I
H01S 5/34
5/024
5/14

テーマコード (参考)
5F073

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全10頁)

(21)出願番号 特願2001-303732 (P 2001-303732)
(22)出願日 平成13年9月28日 (2001. 9. 28)
(31)優先権主張番号 09/877952
(32)優先日 平成13年6月8日 (2001. 6. 8)
(33)優先権主張国 米国 (U.S.)

(71)出願人 000005290
古河電気工業株式会社
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
(72)発明者 吉田 順自
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内
(72)発明者 築地 直樹
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内
(74)代理人 100090022
弁理士 長門 侃二

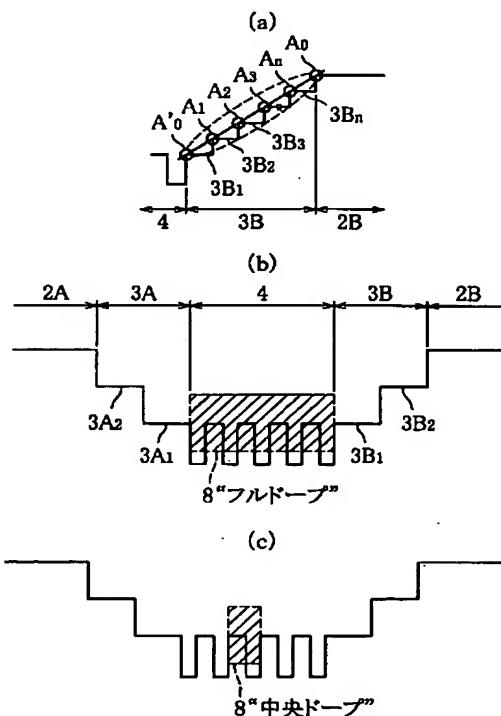
最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体レーザ素子、それを用いた励起用光源

(57)【要約】

【課題】 高光出力動作する半導体レーザ素子と、それを用いた光ファイバ増幅器を提供する。

【解決手段】 1個以上の井戸層と1個以上の障壁層を含むMQW構造と800μmより長い共振器長を有する活性層4を備えた半導体レーザ素子であって、その活性層は、少なくとも1個の井戸層とその井戸層に隣接する少なくとも1個の障壁層を含むドープ領域8を有する。井戸と活性層の全てから成る全活性領域がドーピングされていてもよい。活性層4に隣接して約20nm～約50nmの範囲内の厚みを有する上部および下部光閉じ込め層3A, 3Bがある。半導体レーザ素子を組み込んだ光ファイバ増幅器が開示され、それは、冷却器の上に配置され、パッケージ内に密封された半導体レーザ素子を含み、光ファイバの光入射端面が半導体レーザ素子の光出力端面に光結合されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の個々の井戸層が、それぞれ隣接する障壁層の間に形成されて成り、前記井戸層の少なくとも1個および前記障壁層の少なくとも1個はドーピングされている、800μm以上の共振器長を有する多重量子井戸構造の活性層と、前記活性層に隣接する上部および下部光閉じ込め層とを備えていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記光閉じ込め層のそれぞれの厚みが20～50nmである請求項1の半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記少なくとも1個の井戸層および前記少なくとも1個の障壁層が、n型ドーパントで濃度 $1 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ にドーピングされている請求項1または2の半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記n型ドーパントが、Se, SおよびSiの群から選ばれる請求項3の半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記共振器長が1000μmより長い請求項1～4のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項6】 複数の井戸層および隣接する障壁層がドーピングされている請求項1～5のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項7】 全ての井戸層と全ての障壁層がドーピングされている請求項6の半導体レーザ素子。

【請求項8】 前記光閉じ込め層は、バンドギャップエネルギーが異なる複数の層で形成されている請求項1～7のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項9】 前記バンドギャップエネルギーが、活性層から、隣接する光閉じ込め層の末端表面に至るまで階段状に増大していく請求項8の半導体レーザ素子。

【請求項10】 前記光閉じ込め層に隣接して上部および下部クラッド層が形成され、それらクラッド層のバンドギャップエネルギーは、活性層およびそれに隣接する光閉じ込め層のバンドギャップエネルギーのいずれよりも大きい請求項1～9のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項11】 隣接する各種の層の境界におけるバンドギャップエネルギーはバンドギャップ包絡線で決まり、かつ前記バンドギャップ包絡線が直線である請求項1～10のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項12】 隣接する各種の層の境界におけるバンドギャップエネルギーはバンドギャップ包絡線で決まり、かつ前記バンドギャップ包絡線が（上向きまたは下向き）の曲線である請求項1～10のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項13】 前記曲線が実質的にパラボリックである請求項12の半導体レーザ素子。

【請求項14】 前記井戸層が0.5～1.5%の圧縮歪みを有する請求項1～13のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項15】 共振器の出射端面は5%より小さい反射率を有し、かつ後端面は90%より大きい反射率を有

する請求項1～14のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項16】 出射光の波長が、1200～1550nm（の間にある）である請求項1～15のいずれかの半導体レーザ素子。

【請求項17】 請求項1～16のいずれかの半導体レーザ素子が組み込まれているレーザ部品であって、更に前記半導体レーザ素子の出力を光ファイバの端面に光結合する少なくとも1個のレンズを有し、かつ前記半導体レーザ素子が冷却素子に熱的に結合されていることを特徴とするレーザ部品。

【請求項18】 前記光ファイバは内部にグレーティングが形成されており、そのグレーティングは3nm以下の帯域幅を有している請求項17のレーザ部品。

【請求項19】 それらの厚みが20～50nmである、階段状の上部および下部光閉じ込め層と、複数の個々の井戸層が、それぞれ隣接する障壁層の間に形成されて成り、800μmより長い共振器長を有する多重量子井戸構造を有し、前記光閉じ込め層の間に配置された活性層とを備えた半導体レーザ素子であって、前記光閉じ込め層の段数が少なくとも3個であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は多重量子井戸（multiple quantum well: MQW）構造を有する活性層（発光領域）を備えたタイプの半導体レーザ素子に関する。更に詳しくは、キャリア注入効率が高く、そして高光出力動作を実現するMQW半導体レーザ素子に関する。本発明は、また、それを用いた励起用光源に関する。

【0002】

【従来の技術】MQW構造を活性層（発光領域）とする半導体レーザ素子は、バルク活性層を有する半導体レーザ素子に比べて低いしきい値電流で発振し、また高光出力動作が可能であることが知られている。このような公知のMQW構造のレーザ素子の断面構造の1例を図1

（a）に示す。

【0003】図1（a）で示したレーザ素子は、例示ではn型半導体である半導体基板の上に公知の方法を用いて形成される多数の半導体層から成る。各種の層は、n

40型の下部クラッド層2A、ノンドープの下部光閉じ込め層3A、活性層4、ノンドープの上部光閉じ込め層3B、p型の上部クラッド層2B、およびp型のキャップ層5を含む。これらの層は、基板1の上に、例えば有機金属化学気相成長（MOCVD）法のような公知のエピタキシャル結晶成長方法のいずれかで順次形成される。更に、n型の下部電極6Aが基板1の下側の面に形成され、またp型の上部電極がキャップ層5の上に形成されている。

【0004】図1（a）で示したように、活性層4と、隣接する光閉じ込め層3A, 3Bは、常法のホトリソング

ラフィー技術を用いて、長いメサ構造に形成される。ついで、電流狭搾用の、p型半導体層7Aとn型半導体層7Bが、駆動時に、電流を狭い領域に注入するために、メサ構造と隣接した場所に形成される。得られた構造物はついで劈開され、一方の劈開面に形成され、発光に用いる前端面(S₁)と、反対側の劈開面に形成される後端面(S₂)とを有する所定長さの共振器長(L)のレーザ素子にする。前端面S₁は、共振器の前面からの発光を促進するための低反射膜を備え、また後端面は、背面からの発光を抑制するための高反射膜を備えている。

【0005】活性層4は、半導体材料から成る交互の井戸層のヘテロ接合から本質的には構成されるMQW構造を有するように設計されることが知られている。各ヘテロ接合は、一対の半導体層、すなわち、狭いバンドギャップエネルギーの井戸層と、障壁層で構成される。障壁層のバンドギャップエネルギーは、井戸層のそれよりも広い。MQW構造における各種の構成層(sub-layers)のそれぞれの厚みは数nmである。

【0006】活性層4に隣接する下部および上部光閉じ込め層3A、3Bのそれぞれは、活性層4で発生したレーザ光の閉じ込めを強め、そのことによりレーザ素子の外部微分量子効率を高めて高光出力動作を達成するために、分離閉じ込めヘテロ接合構造(SCH)を有するように設計されている。図1(a)のレーザ素子は、パッケージ内に配置されて、光通信システムの信号光源として、またはエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)やラマン増幅器のような光ファイバ増幅器を励起するための光源として好適なレーザモジュールに組み立てられることが知られている。パッケージ内では、レーザ素子はペルチェ素子から成る冷却素子と熱的に結合される。更に、このパッケージは、発生熱と光出力を監視して制御し、また光ファイバへのレーザ出力の良好な光結合を確実にするために、公知の素子を備えている。

【0007】近年、インターネットと他の通信システムにおける急速な成長は、それらシステムにおける増大するデータ伝送容量を提供するために、光ファイバの波長分割多重(WDM)システムの発展を引き出している。増大するチャンネル数の要求に応えるように高出力動作する光ファイバ増幅器を提供するために、光ファイバに結合される高光出力のポンピングレーザ素子が求められている。光ファイバ増幅器用のポンピングレーザは、光出力が光ファイバと、常時、より高く光結合され、またとくに光ファイバラマン増幅器に使用するためには、狭スペクトル幅で安定駆動することが求められる。

【0008】MQWを備えた高出力のポンピングレーザ素子を実現する1つの方法は、共振器長(L)を長くすることである。共振器長を長くすると、レーザ素子の電気抵抗と熱抵抗の双方が低減する。このことは、最大光出力が起こる飽和駆動電流I_{sat}をより大きくする。熱による光出力飽和を抑制するからである。しかしながら

ら、出力端面の反射率がある一定での場合には、Lを長くすることは、図1(b)で示したように、外部微分量子効率を低めることになる。図1(b)から明らかのように、長い共振器のレーザ素子にとって、出力-電流曲線は最初から比較的低位にある。このように、共振器長が長くなるにつれて外部微分量子効率は低減していくので、ある駆動電流で高光出力動作のために長い共振器のレーザ素子を使用することは不利である。

【0009】この問題は、出力端面の反射率を減ずることによってある程度改善することができる。しかしながら、レーザ素子の出力端面の反射率をある値より小さくすると、レーザ素子の微分量子効率の低減を招き、そして最大光出力の低下を招く。このような低下に関する報告された機構には、MQW構造から光閉じ込め層およびクラッド層へのキャリアの漏洩、このキャリア漏洩に基づく光吸収損失と再結合キャリアの損失の増大、およびMQW構造への非均質なホールの注入が含まれている。

【0010】低出力、短い共振器レーザ素子では、GRIN-SCH構造は有効であることが知られている。連続するGRIN構造、または多重層のGRIN構造が低しきい値電流の動作を実現するために報告されている。高出力のレーザ素子に対しては、報告された結果は、2段のGRIN構造が高光出力の利点を有することを示している。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記したレーザ素子の高光出力動作を制限する上記した問題を回避する新規にして改良された半導体レーザ素子の提供を目的とする。とくに、本発明のレーザ素子は、光ファイバ增幅器用の高キャリア注入効率を有するポンピング光源として有用である。本発明は、無効電流が増加することなく高キャリア注入を実現することができ、またMQW構造を有する他のレーザ素子に比べて光出力を高めることができる。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記した目的を達成するために、本発明においては、複数の井戸層および複数の障壁層を有するMQW構造の活性層に接合する光閉じ込め層の上に配置されたクラッド層を有し、800nm以上の共振器長を備えており、活性層内の少なくとも1個の井戸層とその井戸層に隣接する少なくとも1個の障壁層には不純物がドーピングされており、かつ、前記光閉じ込め層の厚みが20～50nmであることを特徴とする半導体レーザ素子が提供される。

【0013】また、本発明においては、冷却素子、光レンズ、およびホトディテクタを有するパッケージの中に前記半導体レーザ素子が配置され、その半導体レーザ素子の光出力端面に光ファイバが結合されていることを特徴とする、光ファイバ増幅器用ポンピング装置が提供される。

【0014】

【発明の実施の形態】一面では、本発明は、高光出力を生産するための性能を有するレーザ構造（またレーザ素子として参照される）を目的とする。本発明のレーザ素子は、好ましくは、既に説明した図1（a）の断面構造例で示した層構造を有している。本発明の活性層4のMQW構造（図1（a）には示していない）は、隣接する光閉じ込め層3Aと3Bの間に挟まれている。高出力レーザ素子の製造目的との関係では、図1（a）で示したタイプのうち、 $800\mu\text{m}$ またはそれ以上の共振器長（L）を有するレーザ素子がとくに有用である。

【0015】MQW活性層を有する半導体レーザ素子からより高い光出力を得るために考えられる1つの方法は、SeまたはSのようなn型ドーパントを有する障壁層の間にノンドープ井戸層を挟み込むことである。このいわゆる障壁層の変調ドーピングは、それによりMQW構造の内部損失を抑制し、その結果、高光出力動作を可能にする。

【0016】しかしながら、MOCVDによる場合、障壁層のみにn型ドーパントを選択的にドーピングすることが必要であるため、活性層内にこのタイプの変調ドープされた構造を形成することは非常に困難である。例えば、n型ドーパントがSである場合、素子製造時の温度下で、Sは障壁層から隣接する井戸層へ拡散する。同様に、Seを使用すると、よく知られているSeのメモリ一効果が結晶成長の過程で起こって井戸層に包含される結果を引き起こす。結晶成長工程を完全に中断することは、界面準位を形成し、素子の光出力を制限する。

【0017】本発明のレーザ素子の伝導帯と価電子帯のエネルギー-band図の1例を図2に示す。図2は、伝導帯と価電子帯の間のバンドギャップを示し、また、下部クラッド層2Aの上に下部光閉じ込め層3A、活性層4、上部光閉じ込め層3B、および上部クラッド層2Bがこの順序で形成されていることを示す。図2で示されているように、活性層4は井戸層4Aと障壁層4Bの交互のヘテロ接合から成り、そのことによって、5個の井戸を有するMQW構造を提供している。活性層4とクラッド層2A、2Bの間に配置されている光閉じ込め層3A、3Bは、それぞれの組成と厚みが活性層4に対して対称となるようにして形成されている。各光閉じ込め層3A、3Bは、図2で示したように、それぞれのエネルギー-bandにおいて多数の階段を有する。

【0018】図2で示したように、バンドギャップは、活性層4のMQW構造の井戸で最も小さく、MQWの障壁層ではより大きく、光閉じ込め層では更に大きく、そしてクラッド層で最も大きくなっている。本発明のレーザ素子の第1の基本的な特徴は、活性層4の少なくとも1個の井戸層4Aとそれに隣接する障壁層4Bにドーパントが導入され、そのことによりドープ領域8を形成していることである。図3（c）は1個の障壁層と井戸層

のみを有するようなドープ領域8を示しているが、本発明によれば、ドープ領域8は、いかなる対の数の井戸層と障壁層に広げられていてもよい図3（b）。事実、本発明によれば、全活性層がドープ領域8に包含されてもよい。本発明者らは、全活性層にドープ領域を広げるとレーザ素子の直列抵抗と熱抵抗が低減することを測定している。直列抵抗と熱抵抗の低減は、熱発生を減じ、最大光出力を増大させる。

【0019】ドープ領域8を形成するために用いるドーパントは、SとSi、またはそれらの組み合わせのようなn型不純物が好適である。ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度に設定することが好ましい。本発明者らは、ドーピング濃度が約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ より低い場合は、活性層4の中にドープ領域8を創りあげるという前記した利益が得られず、そのため、光出力を意図するように強めることは実現されないということを見出した。他方、本発明者らは、ドーピング濃度が約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より高くなる場合は、活性層4の結晶性が劣化して非発光成分の同様な増加を引き起こすことを見出している。このことは、得られたレーザ素子の高光出力動作を制限する。

【0020】n型ドーパントが好適であるが、本発明で用いるドーパントはp型ドーパントに代てもよい。その場合のp型ドーパントは、Be、MgまたはZnのいずれか1つ、またはそれらの組み合わせであればよい。本発明のもう1つの重要な特徴は、図2で示されている光閉じ込め層3A、3Bが、それぞれの厚みが $20 \sim 50 \text{ nm}$ の範囲内に設定されるように配置されていることである。仮に光閉じ込め層3A、3Bの厚みが 20 nm より薄い場合は、得られる光出力が電子のオーバフローによって低い駆動電流で飽和に達し得る。他方、光閉じ込め層の厚みが 50 nm またはそれより厚くなると、レーザ素子の直流抵抗が増加する。このことは、熱飽和による光出力の飽和を引き起こすことでもある大きな熱発生を引き起こす。

【0021】光閉じ込め層3A、3Bは、活性層4とヘテロ接合を形成する。同様に、更に光閉じ込め層は上部および下部クラッド層2B、2Aとヘテロ接合を形成する。クラッド層2B、2Aのバンドギャップエネルギーは活性層4のバンドギャップエネルギーよりも大きい。図2で示したように、光閉じ込め層3B、3Aの最小バンドギャップエネルギー E_1 と、光閉じ込め層の最大バンドギャップエネルギー E_2 との差は、約 90 meV 以上であることが好ましい。

【0022】図2で示したように、光閉じ込め層3A、3Bを、例えば構成層（sublayer） $3B_1, 3B_2, \dots, 3B_n$ 、および $3A_1, 3A_2, \dots, 3A_n$ のように3個以上の構成層で構成することが好ましい。本発明によれば、これらそれぞれの構成層のバンドギャップエネルギーは、図2と図3（a）で示したように、活

性層 4 から遠くなるにつれて階段状に増加していく。図 3 は、構成層 3 B₁、3 B₂、……3 B_n で構成されている光閉じ込め層 3 B のバンドギャップの階段の端部における一連の点 A₁、A₂、……A_n、A₀ を示している。点 A₀ は、光閉じ込め層 3 B₀ とそれに隣接するクラッド層 2 B の間の階段に形成されていることに注目されたい。また、図 3 (a) には、層 3 B₁ とそれに隣接する活性層 4 の間のバンドギャップエネルギー内の階段に位置する点 A_{0'} が示されている。点 A_{0'}、A₁、A₂、……A_n および A₀ は、層群のバンドギャップエネルギーの包絡線を定める (以後、この包絡線をバンドギャップエネルギー線と呼ぶことにする)。このバンドギャップエネルギー線は、直線であるか、または、図 3 (a) の破線で示したように、連続する、上向きもしくは下向きの曲線形状であることが好ましい。この上向きまたは下向きの曲線形状は、例えば、パラボリックであってもよい。

【0023】図 3 (a) の場合、かくして、バンドギャップエネルギー線が全体として直線形状を有するように、バンドギャップエネルギー線は層 3 B_n のバンドギャップエネルギー線と点 A₀ で交差する。この場合、光閉じ込め層 3 B₀ は、線形 G R I N - S C H 構造を有するといわれる。既に指摘したように、光閉じ込め層 3 A、3 B₀ は、3 層構造例のみに限定されるものではない。構成層 (sub-layers) の数を増すことが好ましい。しかしながら、層数を増すことは各層の組成の慎重な制御が必要である一方に、それらの 1 つでさえもが特定の格子整合条件から外れると、結晶劣化が起り、それは結晶欠陥によりレーザ動作を劣化させることが懸念される。

【0024】本発明のレーザ素子は、その井戸層 4 A のそれぞれが基板 1 に対して約 0.5 と約 1.5 % の間の圧縮歪みを有するように形成されていることが好ましい。更には、本発明のレーザ素子は、その障壁層 4 B のそれぞれが井戸層 4 A の圧縮歪みを補償するために引っ張り歪みを有するように形成されていることが好ましい。とくに、本発明のレーザ素子は、その障壁層 4 B が井戸層 4 A の 1.5 % より大きい圧縮歪みを補償するために引っ張り歪みを有するように形成されている。

【0025】上に指摘したように、本発明のレーザ素子は、約 800 μm 以上の共振器長 (L) を有することが好ましい。より好ましくは、L は約 1000 μm より長い。共振器長が約 800 μm より短いと、レーザ素子の電気抵抗と熱インピーダンスはより大きくなり、飽和電流を低下させる。このことは、熱飽和が飽和電流を抑制するからである。このように、共振器長が約 800 μm より短いと、本発明の利益は完全には実現しない。例えば共振器長が約 800 μm 以上の、比較的長い共振器を用いる場合には、レーザ素子の前面の反射率が約 5 % 以下、そして後面の反射率が 90 % 以上であることが好ましい。レーザ素子の前面に低反射膜を形成するこ

とは、長くした共振器を用いることによって引き起こされる全体の損失に対するミラー損失の割合が低減することに基づいて他方では起こるであろう外部量子効率の減少を補償する。1000 μm 以上の共振器長を有するレーザ素子にとっては、低反射膜が概ね 1.5 % の反射率を有することが好ましい。

【0026】次に、本発明のレーザ部品の例を図 4 を参照して説明する。このレーザ部品 40 は、パッケージ 10 内に密封されたレーザ素子 41 を備える。レーザ素子 41 は、多数のペルチェ素子 9a から成る冷却素子 9 の上に配置されている。コリメータレンズ 11a がレーザ素子 41 の出力端面に近接して配置され、また光集光または光焦点レンズ 11b がパッケージ 10 の壁部近くに配置されている。レーザ素子 41 による光が光ファイバ 12 に光結合されるように、光ファイバ 12 がレンズ 11b に隣接してパッケージ 10 の前部に配置されている。ホトダイオード 13 がレーザ素子 41 の後端面に近接して配置され、素子からの光出力を監視する。コリメータレンズ 11a とレンズ 11b の間にはアイソレータ 14 が配置されて、光ファイバ 12 からの戻り光が抑制される。

【0027】好ましくは、光ファイバ 12 はその中央コア 12a に形成された光ファイバグレーティング 12b を有する。ファイバグレーティング 12b の反射帯域幅は約 3 nm 以下であることが好ましい。(この反射帯域幅は、ファイバグレーティング 12b の反射スペクトルの full width of half maximums (FWHM) として定義される)。更に好ましくは、ファイバグレーティングの反射帯域幅は約 2 nm 以下、そしてまた更に好ましくは約 1.5 nm 以下に設定される。しかしながら、ファイバグレーティング 12b の反射帯域幅は、レーザ素子 8 からの光における縦モードの波長間隔よりも大きくなるべきである。このようにグレーティングの帯域幅を設定すると、光ファイバ 12 からのレーザ光の電流 - 光出力特性における縦モードキングを減少または除去し、同時に、光のスペクトル幅を狭くして多重化を高めることができる。図 4 のこの発明のレーザモジュールはより高い出力を実現し、また公知のレーザモジュールよりもより安定した動作をする。

【0028】

【実施例】1480 nm の波長と図 1 (a) で示した層構造を有する、本発明による多数の半導体レーザ素子が以下のようにして製作され、製作された素子の各種パラメータを変えながら、パラメータとレーザ特性との関係が分析された。

活性層への不純ドーピングの影響

n 型 InP から成る n 型クラッド層 2A が n 型 InP の基板 1 の上に形成された。この下部クラッド層 2A の上に、図 3 (b) で示すように、下部光閉じ込め層 3A が形成された。下部光閉じ込め層 3A は、以下のような G

RIN-SCH構造でアンドープInGaAsP系の半導体材料で製造された：第1層3A₂， $\lambda g = 1.1 \mu m$ ，厚み20nm；そして、第2層3A₁， $\lambda g = 1.2 \mu m$ ，厚み20nmが形成された。

【0029】以下に詳細に述べるが、ついで活性層4がこの下部光閉じ込め層3Aの上に形成された。次に、その上に、第1層3B₁， $\lambda g = 1.2 \mu m$ ，厚み20nmと、第2層3B₂， $\lambda g = 1.1 \mu m$ ，厚み20nmから成る、InGaAsPの上部光閉じ込め層3Bが形成された。このように、上部および下部光閉じ込め層3A，3Bが活性層4に対して対称であるように製造された。

【0030】MQW活性層4は、それぞれ厚み4nmを有し、InGaAsPから成る5個の井戸4Aで形成された。井戸層のそれぞれは、厚み10nmで、InGaAsP（ $\lambda g = 1.2 \mu m$ ）から成る障壁層で囲まれた。このMQW活性層構造は、各井戸において1%の圧縮歪みを有するべく形成された。n型ドーパントSeがMQW活性層の層群に注入され、以下のような不純物ドープ領域8を形成した：素子の第1セットは、井戸層4Aと障壁層4Bの全てにドーパント濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で、全てのMQW層にドーピングして製造された（図3（b）で示されているこの場合を“フルドープ”と呼ぶ）。素子の第2セットは、中央に位置する井戸層4Aとそれに隣接する1個の障壁層4Bから成る1対にのみ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドーパント濃度でドーピングして製造された（図3（c）で示されているこの場合を“中央ドープ”という）。更に、比較例としてアンドープ活性層4を有して素子セットが製造された（以後、“アンドープ”という）。

【0031】その後、通常のホトリソグラフィーとエッチング技術を用いて各素子の上にメサ構造が形成され、ついで、得られたメサに近接した領域に、電流狭搾用のp型電流ブロッキング層7Aとn型電流ブロッキング層7Bが形成された。ついで、p型InPから成る上部クラッド層2Bが上部光閉じ込め層3Bの上に形成され、その上にp型InGaAsPから成るコンタクト層5が形成された。ついで、p型の上部電極がコンタクト層の上に形成され、基板1の背面が研磨された。得られた研磨面にn型の電極6Aが形成された。

【0032】得られた構造物は、ついで、劈開され、1000μmで共振器長（L）が設定され、前端面S1上に低反射膜（反射率1%）が形成され、後端面S2上に高反射膜（反射率95%）が形成され、レーザ素子の製作を完成した。3個の異なったタイプのレーザ素子に關し、電流駆動時における最大光出力（P_{max}）が測定された。得られた結果は、また下の表1にまとめられる。

【0033】

【表1】

活性層における不純物ドープ領域	P _{max} （相対値）
フルドープ	1.2
中央ドープ	1.07
アンドープ	1.0

【0034】表1は、異なったドーピング状態と共振器長1000μmを有する3つのタイプのレーザ素子にとつての最大光出力P_{max}を対比している。表1からは、活性層の井戸層と障壁層が全てドーピングされると、高光出力駆動が達成されることがわかる。次に、フルドープ素子に対し、P_{max}とn型（Se）ドーピング濃度間の関係が調査された。この調査に使用されたレーザ素子は、共振器長（L）が1300μmに設定されたことを除いては、上記した構造と同じであった。結果は図5に示される。

【0035】図5に示されているように、P_{max}値は、Seのドーピング濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に設定されると、調査される素子にとって、約400mWである明確な最大値に達する。より低い、またはより高いドーパント濃度では、ドーピングの効果は相対的に減退する。このように、本発明によれば、活性層におけるドーピング濃度の最適化された値は、P_{max}値を最大にするように設定される。

【0036】GRIN-SCH構造の厚みの調査

厚みの違いがレーザ出力にどのように影響するかを調査するために、光閉じ込め層のGRIN-SCH構造を変えたことを除いては、既に述べたと同様にしてレーザ素子を製作した。調査で使用されたレーザ素子の共振器長は1300μmに設定された。前記したように、上部光閉じ込め層3Bと下部光閉じ込め層3Aは、それぞれ、構成層3B₁，3B₂，および3A₁，3A₂を有する2層構造から成る。調査のこの部分に對しては、素子の各活性層はフルドープであった（Seドーピング濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）。

【0037】得られたレーザ素子のP_{max}値が測定され、その結果は図6（a）に示される。再び、データは、約40nmの光閉じ込め層の厚みに対し、約400mWで非常に明瞭な最大値を示している。また、図6（a）は、光閉じ込め層の厚みが約20～50nmの範囲内にあると、360mWより高い光出力駆動が得られたことを示している。

【0038】P_{max}と光閉じ込め層内の階段の数との関係の調査

つぎに、フルドープ素子に対し、P_{max}と光閉じ込め層内の階段の数との関係が調査された。図6（b）は、光閉じ込め層3A，3B内に多数のバンドギャップ階段を有する構造を示す。光閉じ込め層3Aは、アンドープInGaAsP系半導体材料から成り、以下の順序で形成されたGRIN-SCH構造を備えている：

- (1) 層3A₆， $\lambda g = 0.95 \mu m$ ，厚み8nm； (2)
- 50 層3A₅， $\lambda g = 1.0 \mu m$ ，厚み7nm； (3) 層3

A_1 , $\lambda g = 1.05 \mu m$, 厚み 7 nm; (4) 層 3 A_3 , $\lambda g = 1.1 \mu m$, 厚み 6 nm; (5) 層 3 A_2 , $\lambda g = 1.15 \mu m$, 厚み 6 nm; および (6) 層 3 A_1 , $\lambda g = 1.2 \mu m$, 厚み 6 nm。

【0039】ついで、後述する活性層 4 がこの下部光閉じ込め層 3 A の上に形成された。次に、その上に、以下のアンドープ InGaaSP 層が順次形成されて成る上部光閉じ込め層 3 B が形成された：

(1) 層 3 B_1 , $\lambda g = 1.2 \mu m$, 厚み 6 nm; (2) 層 3 B_2 , $\lambda g = 1.15 \mu m$, 厚み 6 nm; (3) 層 3 B_3 , $\lambda g = 1.1 \mu m$, 厚み 6 nm; (4) 層 3 B_4 , $\lambda g = 1.05 \mu m$, 厚み 7 nm; (5) 層 3 B_5 , $\lambda g = 1.0 \mu m$, 厚み 7 nm; および (6) 層 3 B_6 , $\lambda g = 0.95 \mu m$, 厚み 8 nm。このように、上部および下部光閉じ込め層が活性層の周りで対称となるように製造された。

【0040】活性層 4 は、それぞれが 4 nm の厚みを有し、InGaaSP から成る 5 個の井戸 4 A をもって形成された。井戸層のそれぞれは、InGaaSP ($\lambda g = 1.2 \mu m$) から成り、10 nm の厚みを備えた障壁層 4 B で囲まれた。全ての MQW 活性層構造は 1% の圧縮歪みを有するべく形成され、また、井戸層 4 A と障壁層 4 B の全てにドーパント濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で“フルドープ”された。共振器長 (L) は 1300 μm である。

【0041】 P_{max} と光閉じ込め層の階段数との関係は図 6 (c) に示される。活性層がドーピングされているとき、またアンドープであるときの両方で、レーザ素子内の階段の数が増すにつれて P_{max} は増加していくことが明らかである。本発明の好適例によれば、光閉じ込め層は、 P_{max} を高めるために、少なくとも 3 個の階段を有する。図 6 (c) に示されているデータが、上記したように、光閉じ込め層を形成することにより、しかし層内の階段の数を変えることにより得られた。各例において、光閉じ込め層 3 A, 3 B の全体の厚みは約 40 nm であった。図 6 (c) は、アンドープの素子に対比すると、活性ドーピングは P_{max} 値を高めることを再度示している。

【0042】最も外側の光閉じ込め層のバンドギャップエネルギー (E_2) と最も内側の光閉じ込め層 (E_1) 間のバンドギャップエネルギーとの差の調査

ついで、最外側の光閉じ込め層と最内側の光閉じ込め層間のバンドギャップエネルギー差 ($E_2 - E_1$) の影響を調べるために、既に述べたと同じ構造を有し、共振器長が 1300 μm に設定され、そして活性層の Se ドーピング濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に設定されたフルドープレーザ素子が製作された。更に、 $E_2 - E_1 = 0$ であるレーザ素子もまた製作された。

【0043】これらのレーザ素子の P_{max} 値が測定され、そしてその結果は図 7 に示されている。光出力飽和時の駆動電流 (飽和電流) を決定するために、レーザ素

子の光出力-電流特性もまた測定され、そしてその結果は、 $E_2 - E_1$ 値の関数として飽和電流のグラフの形で図 8 に示されている。図 7 は、 $E_2 - E_1$ 値が増加するにつれて光出力は増加することを示している。 $E_2 - E_1$ 値が約 90 meV またはそれ以上であると、360 mW より高い光出力が得られた。調査する素子において、出力の飽和は約 400 mW で起こった。図 8 は、90 meV の $E_2 - E_1$ を有するレーザ素子は約 1200 mA より高い飽和電流を有し、そのことにより、大きな注入電流で駆動できること、換言すれば、高い最大光出力を得ることを可能にすることを示している。

【0044】1480 nm のレーザ素子を有した実施例であるが、本発明は、このようなレーザ素子に限定されないことは当業者にとって明らかであろう。とくに、本発明の素子は 1200 ~ 1550 nm の帯域で駆動するラマン増幅器のポンピング光源としてもまたとくに有用であることが理解されるだろう。また、本発明は InP 基板上の InGaaSP 系レーザ素子の 1 例に関して説明されているが、この本発明がこのような構造に限定されないこと；例えば、本発明は InP 基板上の AlGaInAsP 系のレーザ素子および GaAs 基板上の AlGaInP, AlGaInNAsP または GaInAsP 系のレーザ素子への応用性を備えていることは当業者にとって明らかであるだろう。更に、当業者は基板が p 型基板に変えててもよいことを理解するだろう。

【0045】

【発明の効果】本発明のレーザ素子は、キャリア注入効率が高く、また高光出力動作過程での光閉じ込め層の光閉じ込め効果が大きく、そのため、ポンピング光ファイバ増幅器用の光源としての使用に有効に対応可能である。したがって、本発明レーザ素子は、例えば、エルビウムドープ光ファイバ増幅器および/またはラマン増幅器のように、W レベルの光出力動作という厳しい要求下にある最近のシステムで使用するための光源として用いることによく適している。

【0046】本発明はその特定の例に関して説明されているが、当業者は、他の変形例が本発明の精神から外れることなくななるであろうことを理解するだろう。それゆえ、本発明は特許請求の範囲によって限定されるのみと解釈されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】(a) は半導体レーザ素子の断面図である。また (b) は従来素子の駆動電流と共振器長の関数として光出力を示すグラフである。

【図 2】本発明の 1 例によるレーザ構造において、MQW 活性層とそれに隣接する光閉じ込め層およびクラッド層のバンドギャップエネルギーを示すエネルギー-バンド図である。

【図 3】(a) は本発明の 1 例で、クラッド層と活性層の間の層群にとってのバンドギャップエネルギーを示す

エネルギー・バンド図である。(b) は本発明の1例によるフルドープ活性層を示し、クラッド層の間に位置する、本発明のレーザ素子内の層群にとってのバンドギャップエネルギーを示すエネルギー・バンド図である。また(c) はクラッド層間に位置する、本発明のレーザ素子内の層群のバンドギャップエネルギーを示し、また本発明の1例による中央ドープ活性層を示すエネルギー・バンド図である。

【図4】本発明のレーザモジュールの1例の断面概略図である。

【図5】 $1300\mu\text{m}$ の共振器長を有するフルドープ素子に対し、本発明の活性なMQW層におけるSeドーピング濃度を関数とした最大レーザ光出力(P_{\max})を示すグラフである。

【図6】(a) $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ のドーピング濃度で $1300\mu\text{m}$ の共振器長を有する本発明のフルドープレーザ構造内の光閉じ込め層の厚みを関数とした最大光出力(P_{\max})を示すグラフである。(b) はフルドープ活性層を有する本発明の他の例によるレーザ構造内で、MQW活性層と隣接する光閉じ込め層とクラッド層のバンドギャップエネルギーを示すエネルギー・バンド図である。また(c) は P_{\max} と光閉じ込め層内の階段の数との関係を示すグラフであって、アンドープおよび活性層ドーピングした活性層を比較している。

【図7】 $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ のドーピング濃度で $1300\mu\text{m}$ の共振器長を有する本発明のフルドープレーザ構造例における最も外側の光閉じ込め層のバンドギャップエネルギー(E_2)と最も内側の光閉じ込め層のバンドギャップエネルギー(E_1)間のエネルギー差の関数として最大光出力(P_{\max})を示すグラフである。

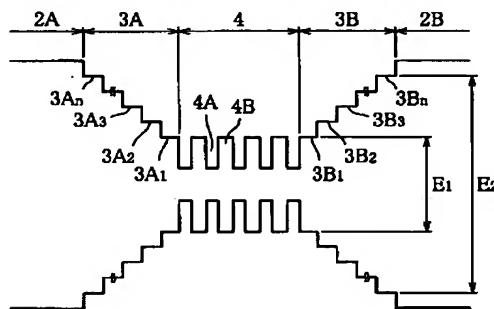
【図8】1例のレーザ素子において、光出力が飽和した

ときの飽和電流を最も外側の光閉じ込め層のバンドギャップエネルギー(E_2)と最も内側の光閉じ込め層のバンドギャップエネルギー(E_1)間のエネルギー差の関数として示すグラフである。

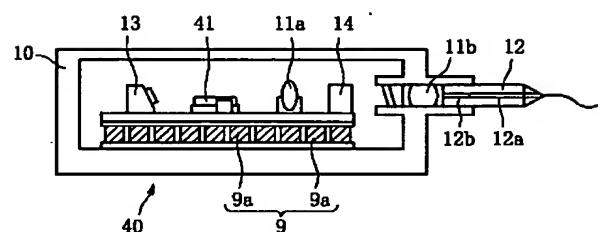
【符号の説明】

1	基板
2 A	下部クラッド層
2 B	上部クラッド層
3 A	下部光閉じ込め層
10 3 B	上部光閉じ込め層
4	活性層
4 A	井戸層
4 B	障壁層
5	コンタクト層
6 A	下部電極
6 B	上部電極
7 A	p型半導体層
7 B	n型半導体層
9	冷却素子
20 9 a	ペルチェ素子
10	ハウジング
11 a	コリメータレンズ
11 b	集光レンズ
12	光ファイバ
12 a	コア
12 b	ファイバグレーティング
13	ホトディテクタ
14	アイソレータ
40	光部品
30 4 1	半導体レーザ素子

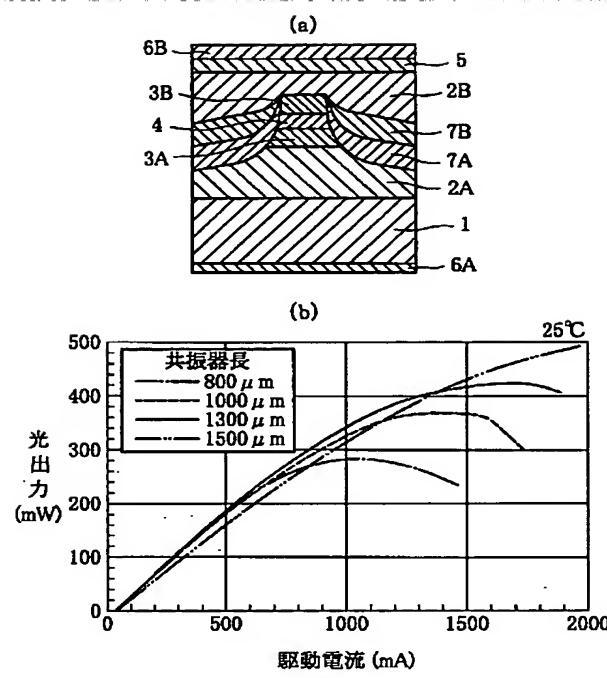
【図2】



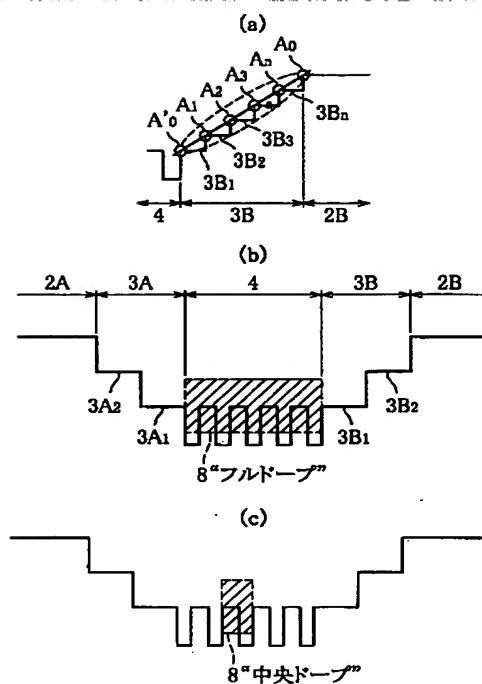
【図4】



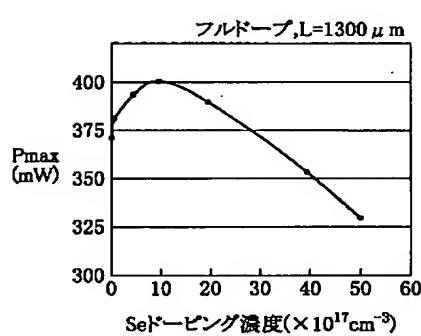
【図 1】



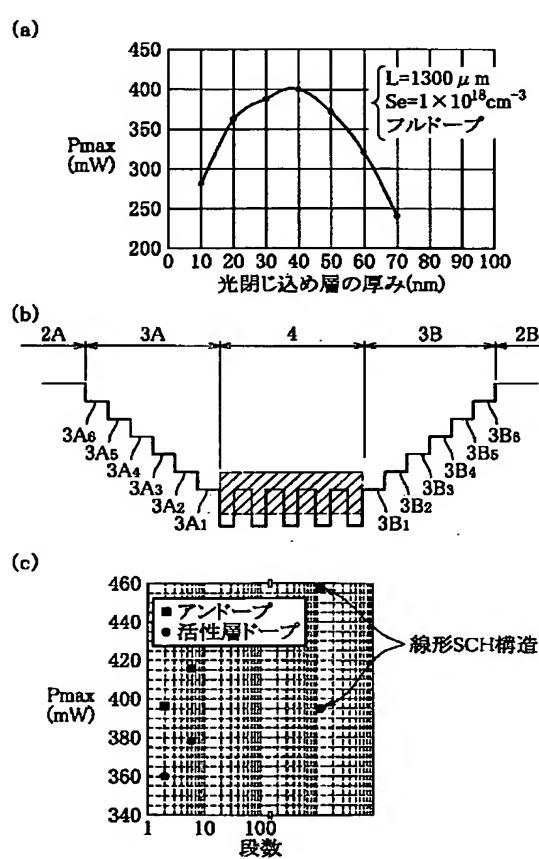
【図 3】



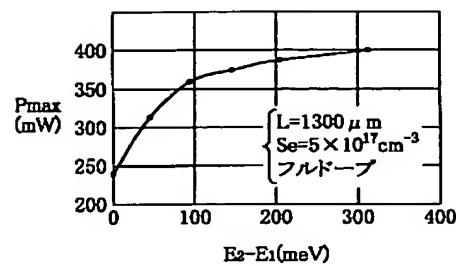
【図 5】



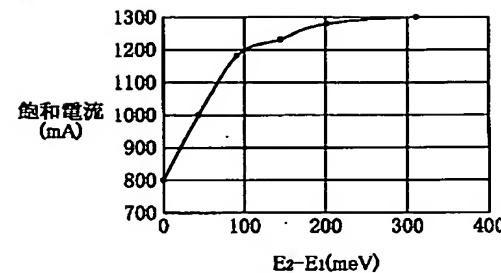
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72) 発明者 斎藤 剛

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

(72) 発明者 入野 聰

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

(72) 発明者 湯 龍一郎

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

F ターム(参考) 5F073 AA22 AA46 AA74 AB27 AB28
AB30 BA01 CA12 CB02 CB13
DA05 DA21 DA31 EA24 FA01
FA06 FA25 FA29